

## Masterarbeit

Thema: Inbetriebnahme und Optimierung einer Behandlungsanlage für Niederschlagswasser auf Biogasanlagen

Bearbeiter: Patrick Schelhorn

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Tränckner  
Dipl.-Ing. Ulrich Kotzbauer, ROTARIA Energie- und Umwelttechnik GmbH

Datum: 17.11.2017

## Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der besonderen Abwassersituation auf Biogasanlagen wurde eine Tropfkörperkläranlage mit nachgeschaltetem bepflanztem Bodenfilter als großtechnischer Prototyp unter realen Bedingungen getestet.

Während des Versuchszeitraums konnten starke Schwankungen bei der Abwasserzusammensetzung festgestellt werden. Die Messungen zeigten sowohl sehr hoch verschmutzte Abwässer mit organischen Belastungen bis  $8590 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalten bis  $146 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  und  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Gehalten bis  $61 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , als auch Abwässer mit CSB-Konzentrationen von  $< 300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  und geringen Nährstoffanteilen. Das CSB:N:P Nährstoffverhältnis zeigte bei höheren organischen Belastungen tendenziell ein Mangel für den optimalen aeroben Abbau, während ein Überschuss bei niedrigeren organischen Belastungen gegeben war. Aus den Erkenntnissen konnten letztendlich zwei Modellabwässer generiert werden, welche sich einmal auf hoch belastetes und einmal auf niedrig belastetes Abwasser beziehen (siehe Tabelle 16). Tendenziell zeigte das Abwasser mit einem CSB / BSB-Verhältnis  $< 1,44$  eine gute Abbaubarkeit.

Durch die Inbetriebnahme der Anlage konnten wichtige Erkenntnisse zu hydraulischen und physikalischen Kenngrößen gewonnen werden. Trotz der nach DWA (2016) festgestellten Unterdimensionierung der Belüftungsöffnung und eines zu geringen Sauerstoffeintrags konnte in der gelösten Phase immer ein Sauerstoff-Gehalt  $> 4,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  vorgefunden werden. Eine Zwangsbelüftung war nicht nötig. Dies bildet auch einen der größten Vorteile des Tropfkörperverfahrens. Auch in Zeiten in denen wenig Abwasser zufließt ist eine Belüftung durch die natürliche Konvektion gesichert und es fallen keine extra Kosten an.

Hinsichtlich der hydraulischen Eigenschaften des Tropfkörpers konnten bei einer Förderleistung von mindestens  $8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  die Richtwerte für Spülkraft ( $> 4 \text{ mm}$  je Arm) und die Oberflächenbeschickung ( $> 0,8 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ ) eingehalten werden. Optisch war nach der Montage eines Prallbleches an den Drehsprengerarmen eine vollständige Benetzung des Füllmaterials gegeben.

Der bepflanzte Bodenfilter musste mit einer stark verringerten Oberfläche betrieben werden und wurde deshalb während dem Versuchszeitraum hauptsächlich mit einer zu hohen hydraulischen Beschickung versehen.

Im Automatikbetrieb zeigte der Tropfkörper trotz der stark schwankenden Zulauf-Charakteristiken eine gute Reinigungsleistung. Es konnte eine vollständige Nitrifikation bis zu  $107 \text{ mg NH}_4\text{-N} \cdot \text{l}^{-1}$  bei einer maximalen Umsatzrate von  $13,3 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \text{ Füllmaterial} \cdot \text{h})^{-1}$  beobachtet werden.

Bezüglich der biologischen Abbaubarkeit zeigte sich ebenso eine gute Reinigungsleistung. Die  $\text{BSB}_5$ -Messungen im Ablauf zeigten Konzentrationen  $< 35 \text{ mg l}^{-1}$ .

Beim CSB-Abbau konnte eine maximale Umsatzrate von  $852 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \text{ Füllmaterial} \cdot \text{h})^{-1}$  und Abbaugrade bis zu 97,3 % erreicht werden. Durch Versuche bei denen die Behandlungszeit stark erhöht wurde ( $> 6 \text{ h}$ ) konnte außerdem festgestellt werden, dass ein Großteil des Abbaus bereits nach kurzen Behandlungszeiten bis zu einer Stunde abgeschlossen ist. Längere Behandlungszeiten führten zwar ggf. noch zu einer weiteren Verbesserung des Ablaufwertes, jedoch mit weitaus geringerer Kinetik. Daraus lässt sich ableiten, dass besonders der kurzfristige Abbau des Tropfkörpers einen entscheidenden Einfluss auf den Ablaufwert hat. Besonders hinsichtlich einer Erhöhung des hydraulischen Durchsatzes im Niederschlagsfall ist diese Erkenntnis wichtig.

Diesbezüglich konnte auch ein anderer Faktor identifiziert werden der Auswirkungen auf die kurzfristige Verringerung der Belastung hat. Durch Sorptionsversuche im Labor und am Tropfkörper konnte gezeigt werden, dass bereits bei einmaligem durchlaufen des Abwassers durch das Füllmaterial ein großer Teil der Belastung verringert werden kann. Grund hierfür sind Sorptionseffekte durch den Belebtschlamm im Füllmaterial. Es konnte eine maximale spezifische Sorption von  $354 \text{ mg} \cdot (\text{g oTS})^{-1}$  bestimmt werden. Auch durch diesen Effekt ergeben sich Möglichkeiten hinsichtlich einer Erhöhung des hydraulischen Durchsatzes im Niederschlagsfall.

Ausgehend von der spezifischen Sorption konnte auch ein Rückschluss auf die Biomasse im Tropfkörper geschlossen werden. An verschiedenen Versuchstagen ergab sich eine Theoretische Biomasse im Tropfkörper von  $1,5 - 7,0 \text{ kg oTS} \cdot \text{m}^3^{-1}$ .

Allerdings ergaben die CSB-Messungen im Ablauf stark wechselnde inerte, bzw. schwer abbaubare Anteile. So kam es, dass bei einigen bereits behandelten Abwässern CSB-Gehalte zwischen 250 und  $350 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  identifiziert wurden, deren  $\text{BSB}_5$ -Messung auf eine niedrige biologische Restabbaubarkeit hin deuteten. Andererseits gab es Rohabwässer, welche im Zulauf nur ca.  $300 \text{ mg CSB} \cdot \text{l}^{-1}$  aufwiesen, jedoch noch zu weiten Teilen abbaubar waren. Diese Erkenntnisse müssen ggf. bei der Festlegung gesetzlicher Grenzwerte beachtet werden, sodass andere Abwasserparameter wie z. B. der BSB zur Bewertung der Ablaufqualität herangezogen werden.

Während des Versuchszeitraums kam es zeitweise zu einer Verschlechterung der CSB und  $\text{NH}_4\text{-N}$  Ablaufwerte. Als Ursachen konnten sowohl konstruktive Mängel als auch anderweitige Probleme identifiziert werden. Problematisch ist zum einen die fehlende Durchmischung im Tropfkörper-Sumpf. Durch die Akkumulation von Überschussschlamm am Boden und anaerobe Zonen kam es sowohl zur Freisetzung von CSB /  $\text{NH}_4\text{-N}$  als auch zu einer Sulfurikation / Desulfurikation, wobei beide Effekte im Schluss zu einer Verschlechterung der Ablaufwerte führten. Zum anderen konnte nach einer längeren Trockenphase eine Verschlechterung der Ablaufwerte beobachtet werden. Durch den geringen Abwasserzufluss in dieser Phase kam es zu einem starken Rückgang des Biofilms und zu

einem Einbruch der Reinigungsleistung bei erneutem Abwasserzufluss. Bereits kurzfristig ( $< 1$  d) setzte jedoch wieder eine Verbesserung ein. Der Tropfkörper kann gut mit diesen Schwankungen umgehen, eine plötzliche zu hohe Belastung nach Trockenphasen sollte allerdings vermieden werden.

Erste Versuche zur Denitrifikationsleistung des Belebtschlammes ergaben eine spezifische Denitrifikationsrate von  $13,8 \text{ mg NO}_3\text{-N} \cdot (\text{g oTS} \cdot \text{h})^{-1}$ . Auch hinsichtlich der Eignung des Niederschlagsabwassers für die Denitrifikation konnte ein positives Resümee gezogen werden.

Die Reinigungsleistung des nachgeschalteten Bodenfilters war während dem Versuchszeitraum beschränkt. Grund hierfür war unter anderem der Betrieb unter falschen hydraulischen und stofflichen Bedingungen. Den größten Nutzen könnte ein bepflanzter Bodenfilter im Hinblick auf die Phosphatelimination bringen. Hier zeigte sich zumindest bei drei der Messungen eine Verringerung um bis zu 54 %.

Bisherige Bemessungsansätze für Tropfkörper, Pflanzenkläranlagen und nötige Peripherie beschränken sich hauptsächlich auf die Anwendung für kommunale Abwasserreinigungen. Mit den hier aufgezeigten Ansätzen konnten erste Lösungsvorschläge zur Anwendung für Niederschlagsabwasserbehandlungsanlagen auf Biogasanlagen gezeigt werden.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen dieser Arbeit lässt sich großes Potential für weitere Forschungsvorhaben erkennen. Nicht zuletzt wegen der wenigen stichhaltigen Untersuchungen die es zum Thema der Niederschlagsabwasserbehandlung auf Biogasanlagen gibt ergaben sich viele Fragestellungen während des Versuchszeitraums welche nur ungenügend beleuchtet werden konnten.

Bezüglich der stofflichen Zusammensetzung des Niederschlagswassers ist in dieser Arbeit nur auf die grundlegenden Abwasserparameter eingegangen worden. Beim Umgang mit Stoffen von landwirtschaftlichen Flächen oder Betrieben werden jedoch immer häufiger auch Spurenstoffe, Antibiotika und Spritzmittel gefunden. Auch hier kann zukünftig eine Aufreinigung nötig sein. Dazu müssen jedoch erst die Grundlagen geschaffen werden. Ein weiterer Parameter der nur ungenügend betrachtet wurde ist der Phosphor. Bei der Versuchsanlage konnte keine Phosphorelimination beobachtet werden, wodurch sich ein großer Forschungsbedarf ergibt. Auch bezüglich der Erweiterung des Verfahrens mit einer Denitrifikation sind noch genauer die Fragen der Kinetik und des Abbauverhaltens entstanden.